

Résumé

Dans l'association cocotiers/*Acacia mangium* ou *A. auriculiformis*, les débris végétaux laissés au sol après recépage des arbres à quatre ans représentent un important potentiel restituable en azote, potassium et magnésium. Malgré la récupération du bois, les besoins en azote et en potassium sont couverts. Ceux en magnésium pourraient être réduits de moitié si les bourres et les coques étaient laissées au sol. Sans apport complémentaire de fumure minérale azotée, les légumineuses arborescentes améliorent la productivité des cocotiers de façon permanente et continue.

Abstract

When coconut is intercropped with *Acacia mangium* or *A. auriculiformis*, the plant debris left on the ground after cutting back the trees at four years old is a substantial potential source of nitrogen, potassium and magnesium that can be returned to the soil. Although the wood is recovered, nitrogen and potassium requirements are met. Magnesium requirements could be halved if coconut husks and shells were left on the ground. Without any additional inorganic nitrogen fertilization, these woody legumes improve coconut yields in a sustainable and continuous way.

Resumen

En la asociación cocoteros/*Acacia mangium* o *A. auriculiformis*, los residuos vegetales dejados en el suelo después de desmochar las plantas con cuatro años de edad representan un importante potencial restituable de nitrógeno, potasio y magnesio. A pesar de la recuperación de la madera, se cubren las necesidades de nitrógeno y de potasio. Los de magnesio podrían reducirse por la mitad en caso de dejar en el suelo las borras y las cáscaras. Sin aporte complementario de fertilización nitrogenada, las leguminosas arborescentes mejoran la productividad de los cocoteros de manera permanente y continua.

Bilan positif de l'association cocotiers/acacias pour la restitution de l'azote, de la potasse et du magnésium

Zakra N.¹, Domenach A.M.², Sangaré A.¹

¹ IDEFOR-DPO, station Marc Delorme, 07 BP 13 Abidjan 07, Côte d'Ivoire

² Laboratoire de microbiologie des sols, université Lyon I, 43 bd du 11 Novembre 1918, 69622 Villeurbanne Cedex, France

La très faible fertilité des sables quaternaires du littoral, qui supportent plus de 80 % de la cocoteraie ivoirienne, a été aggravée par une très longue monoculture de cocotiers, sans apport d'engrais et sans restitution organique (Pomier et de Taffin, 1982 ; Ouvrier, 1987). Les bourres, les palmes et autres débris végétaux des cocotiers sont systématiquement utilisés par les riverains comme combustibles et matériaux de construction. Pour renouveler la cocoteraie, maintenant trop âgée et très peu productive, les coûteux amendements sont hors de portée des planteurs. Dès 1986, un essai d'association légumineuses/cocotiers (de Taffin *et al.*, 1991 ; Pomier *et al.*, 1986), devant permettre de restaurer un bon niveau de fertilisation azotée, a été mis en place.

Matériel et méthodes

Une association cocotiers/arbres fixateurs *in situ* et une simulation en conditions contrôlées de la dégradation des différents organes retournant au sol ont été installées.

Cultures associées cocotiers/acacias
Sur le littoral sableux du sud-est de la Côte d'Ivoire, après abattage d'une ancienne cocoteraie de Grands Ouest Africains (GOA), des parcelles d'essais ont été réalisées, en 1986, en associant le cocotier hybride PB 121 à des arbres fixateurs d'azote atmosphérique (de Taffin *et al.*, 1991) dont *Acacia mangium* et *A. auriculiformis*. Une ligne de cocotiers sur trois a été remplacée par une double rangée (2 x 3 m) d'acacias.

Tous les quatre ans, les acacias sont recépés à 1,5 m de hauteur. Les troncs sont exportés, les feuilles et les petites branches réparties sur l'ensemble de la parcelle après l'évaluation de la biomasse de chacune des composantes. Lors du recépage, les mesures de biomasse ont été réalisées à partir de six individus de chacune des espèces fixatrices d'azote choisis sur trois blocs. Sur chaque arbre, les biomasses des feuilles, des fruits, des branches, des troncs et celles de la litière présente à ce moment là au sol, sous ces arbres, ont été déterminées.

Dynamique de restitution des éléments

Deux essais (A et B) se succédant, d'une durée de 12 mois chacun, ont été mis en place selon le même dispositif en 4 blocs de Fisher. Chaque bloc est formé de 2 rangées de 14 cases carrées de 40 cm de côté et 20 cm de hauteur. Ces cases sont remplies, sur 17 cm de hauteur, de sable de même type que celui trouvé dans la station expérimentale et qui a été préalablement débarrassé des débris végétaux qu'il contenait. Le matériel végétal directement posé sur le sable recouvre la surface du carré. L'ensemble du dispositif est protégé par un grillage de maille 1 cm, permettant le passage de la microfaune tout en évitant perte ou apport dans le système.

Dans l'essai A, la dégradation de l'ensemble des organes d'*A. mangium* a été suivie à partir du début de la saison sèche. Ces organes sont les feuilles en formation, les feuilles à maturité, les fruits, le tronc et

les grosses branches ainsi que les racines. Dans l'essai B, mis en place au début de la saison des pluies, une comparaison de la dynamique de dégradation entre les mêmes organes des deux espèces, *A. mangium* et *A. auriculiformis*, a été réalisée. Cette comparaison porte sur l'ensemble des organes végétaux retournant au sol soit naturellement, soit après recépage. Ce sont les feuilles vertes, les feuilles jaunes sénescences ainsi que les petites branches ne pouvant pas être utilisées comme combustible.

Les prélèvements ont été effectués tous les deux mois pour l'essai A et tous les trois mois pour l'essai B, dans les casiers prévus à cet effet dans chaque bloc et pour chaque organe. A chaque prélèvement, le matériel végétal restant identifiable à l'œil nu est récupéré, nettoyé du sable qui y adhère, puis son contenu en azote total (Bremner et Mulvaney, 1982), en potassium et en magnésium est dosé.

Résultats et discussion

Quantités d'azote, de potassium et de magnésium immobilisées par les acacias, exportées ou restituées

Exportations

L'évaluation de la biomasse des troncs et des grosses branches ainsi que la mesure de leur concentration en azote, potassium et magnésium permettent d'estimer les exportations de ces éléments lorsque le bois est récupéré après recépage (tableau 1). Par la quantité de bois formé (56 kg/arbre) et ses teneurs élevées en éléments, *A. mangium* représente une exportation deux fois plus importante de potassium et de magnésium et seulement 60 % de plus d'azote que *A. auriculiformis*. L'azote exporté (153 kg/ha) pour *A. mangium* et 90 kg/ha pour *A. auriculiformis* représente 20 % de l'azote contenu dans chacune des espèces et on peut penser que la fixation compense largement cette exportation (tableaux 1 et 2). En revanche, l'exportation du potassium et du magnésium constitue une perte pour le sol et pour les cocotiers (tableaux 1 et 3). Si on compte 450 arbres fixateurs par hectare, ces pertes s'évaluent (tableau 1) pour *A. mangium* et *A. auriculiformis* à 58 et 25 kg/ha pour le potassium et 28 et 12 kg/ha pour le magnésium. D'après Ochs *et al.* (1993), la récolte des noix de cocotiers de même génotype à 12 ans correspond à une exportation de 100 kg d'azote, 200 kg de potassium et 20 kg de magnésium par an et

Tableau 1. Evaluation des exportations du «bois» récupéré après recépage à 4 ans. Evaluation of exports in the «wood» recovered after cutting back at 4 years.

	<i>A. mangium</i>		<i>A. auriculiformis</i>	
Biomasse (kg/arbre) / Biomass (kg/tree)	56	(13,7)	39	(9,3)
Teneurs mg/g / Contents mg/g				
N	6,2	(0,2)	5,1	(0,1)
K	2,3	(0,8)	1,4	(0,6)
Mg	1,1	(0,4)	0,7	(0,3)
Quantités (kg/arbre) / Quantities (kg/tree)				
N	0,34	(0,09)	0,20	(0,10)
K	0,13	(0,07)	0,055	(0,04)
Mg	0,06	(0,036)	0,027	(0,02)
Quantités (kg/ha) / Quantities (kg/ha)				
N	53		90	
K	58		25	
Mg	28		12	

N : azote / nitrogen — K : potassium — Mg : magnésium / magnesium
 «bois» = tronc + grosses branches / "wood" = trunk + large branches
 6 répétitions / 6 replicates
 () écart-type / () standard deviation

Tableau 2. Azote restitué au sol par certains organes d'acacias après recépage à 4 ans et par chute de litière. Nitrogen restored to the soil by certain acacia organs after cutting back at 4 years and by fallen litter.

	<i>A. mangium</i>		<i>A. auriculiformis</i>	
Biomasse (kg/arbre) / Biomass (kg/tree)				
petites branches / small branches	14,3	(3,9)	11	(3,8)
feuilles / leaves	10,8	(2,4)	7,6	(2,1)
fruits / fruits	1,8	(0,7)	2,8	(2)
litière / litter	30,4	(6,1)	31	(3,3)
Teneurs N mg/g / N contents mg/g				
petites branches / small branches	8,5	(0,9)	11,9	(3,1)
feuilles / leaves	27	(0,8)	31,4	(2,1)
fruits / fruits	16	(0,5)	16	(0,5)
litière / litter	16,1	11,9		
Quantités N (kg/ha) / Quantities of N (kg/ha)				
petites branches / small branches	0,12	(0,05)	0,13	(0,08)
feuilles / leaves	0,29	(0,07)	0,22	(0,08)
fruits / fruits	0,03	(0,01)	0,05	(0,07)
litière / litter	0,49	(0,11)	0,37	(0,08)
Quantités N (kg/ha) / Quantities of N (kg/ha)				
petites branches / small branches	54	420	59	348
feuilles / leaves	131		99	
fruits / fruits	14		23	
litière / litter	221		167	

6 répétitions / 6 replicates
 () écart-type / () standard deviation

par hectare. Produire du bois permet de laisser au champ les bourres des noix habituellement utilisées comme combustible et limite ainsi les pertes puisqu'elles contiennent à elles seules 70 % du potassium et 60 % du magnésium. Dans le cas de l'expérimentation, la récolte conjuguée du bois des acacias et des noix représente une perte importante des éléments nutritifs du système de culture pouvant entraîner un déséquilibre. Ce dernier commence d'ailleurs à se percevoir : les teneurs foliaires des cocotiers, utilisées comme indicateurs du niveau de fertilité des sols et des facteurs limitants

de la production, ont évoluées au cours du temps (tableau 4). En quatre ans, les teneurs foliaires en potassium ont chuté de 1 à 0,6 % pour l'ensemble des cocotiers associés alors que celles du magnésium, cation antagoniste au potassium, se sont maintenues à 0,5-0,6 %. Or, on sait que la production commence à baisser lorsque la concentration en potassium passe en dessous de 1 % et que l'équilibre entre potassium et magnésium devient précaire (Ochs *et al.* 1993). Pour l'azote, la fixation symbiotique semble largement combler les exportations puisque les teneurs en azote des feuilles de

Tableau 3. Potassium et magnésium restitués au sol par certains organes d'acacias après recépage à 4 ans. / Potassium and magnesium restored to the soil by certain acacia organs after cutting back at 4 years.

	<i>A. mangium</i>		<i>A. auriculiformis</i>	
Biomasse (kg/arbre) / Biomass (kg/tree)				
petites branches / small branches	14,3	(3,9)	11	(3,8)
feuilles / leaves	10,8	(2,4)	7,6	(2,1)
fruits / fruits	1,8	(0,7)	2,8	(2)
Teneurs K mg/g / K contents mg/g				
petites branches / small branches	1,7	(0,3)	1,7	(0,3)
feuilles / leaves	3,7	(0,4)	7,9	(1,2)
fruits / fruits	14,9	(0,6)	14	(0,5)
Teneurs Mg (mg/g) / Mg contents (mg/g)				
petites branches / small branches	1,3	(0,2)	2,8	(0,2)
feuilles / leaves	2,6	(0,1)	2,6	(0,0)
fruits / fruits	1,0	(0,0)	1,8	(0,0)
Quantités K (kg/arbre) / Quantities of K (kg/tree)				
petites branches / small branches	0,03	(0,014)	0,02	(0,01)
feuilles / leaves	0,04	(0,013)	0,06	(0,02)
fruits / fruits	0,03	(0,013)	0,004	
Quantités Mg (kg/arbre) / Quantities of Mg (kg/tree)				
petites branches / small branches	0,019	(0,008)	0,031	(0,01)
feuilles / leaves	0,028	(0,007)	0,020	(0,006)
fruits / fruits	0,002	(0,001)	0,005	
Quantités K (kg/ha) / Quantities of K (kg/ha)				
petites branches / small branches	14	46	9	38
feuilles / leaves	18		27	
fruits / fruits	14		2	
Quantités Mg (kg/ha) / Quantities of Mg (kg/ha)				
petites branches / small branches	8	32	14	25
feuilles / leaves	13		9	
fruits / fruits	11		2	
6 répétitions / 6 replicates				
() écart-type / () standard deviation				

cocotiers dépassent les valeurs optimales (avec 2,1 et 2,2 pour les cocotiers associés respectivement à *A. mangium* et à *A. auriculiformis*) bien que le sol soit très pauvre en azote.

Ainsi, le système associatif acacias/cocotiers permet de répondre au besoin en azote du cocotier et évite un apport minéral azoté. Il limite les pertes en potasse parce qu'il restitue des bourres au sol en compensation du bois fourni. Néanmoins, l'exploitation de ce bois, bien que réduite de moitié, entraîne une perte d'éléments pour le système et, en particulier, de potassium, élément limitant, qui devra être compensé par un apport.

Restitution potentielle

L'introduction d'acacias dans la culture de cocotiers entraîne l'exploitation des éléments nutritifs par l'acacia dont une partie sera exportée et une autre restituée par les organes laissés au sol lors du recépage. Les mesures faites sur les grandes classes d'organes, feuilles, fruits, petites branches, ainsi que sur la litière présente, permettent d'évaluer la quantité d'éléments nutritifs

immobilisés par les acacias. Ces éléments, prélevés à partir du sol seul, en ce qui concerne le potassium et le magnésium, ou du sol et de l'air en ce qui concerne l'azote (tableaux 2 et 3), ne seront disponibles pour les cocotiers qu'au fur et à mesure de la dégradation des différents organes des acacias. Sachant que l'ensemble des arbres sont recépés une fois tous les quatre ans, les quantités d'éléments qui reviennent au sol après recépage représentent pour *A. mangium* et *A. auriculiformis* respectivement 420 et 348 kg/ha d'azote, 46 et 38 kg/ha de potassium et 32 et 25 kg/ha de magnésium. Si on compare les quantités d'éléments immobilisés par les deux espèces d'acacias, les concentrations en général plus élevées chez *A. auriculiformis* ne compensent pas complètement la plus forte production de biomasse d'*A. mangium*. On peut remarquer également que les litières sont fortement appauvries par rapport aux feuilles vertes. Les résultats obtenus sur des feuilles sénescents mais encore rattachées à l'arbre révèlent qu'il existe en fait une forte remobilisation des éléments minéraux au cours de la sénescence.

Si ces éléments nutritifs contenus dans les organes d'acacias revenant au sol après recépage sont potentiellement restituables, il reste à savoir en combien de temps cette restitution s'effectue réellement et si cette immobilisation momentanée ne déséquilibre pas plus le milieu.

Dynamique de dégradation des organes d'acacias et de libération des éléments nutritifs immobilisés

Perte du poids de la matière sèche des organes d'acacias laissés au sol après recépage

L'ensemble des résultats montre que la vitesse de dégradation dépend de l'organe considéré, de l'espèce végétale et de la période de la mise en place de l'expérience (figure 1 pour l'essai A et tableau 5 pour l'essai B). Même si la récupération du matériel végétal est de plus en plus délicate au fur et à mesure de l'état de dégradation des organes, l'altération semble largement dépendre du régime des pluies existant en début d'expérience. Ce régime conditionne le temps de résidence du matériel végétal dans le sol. Au bout de 12 mois, la dégradation des feuilles vertes d'*A. mangium* est de 40 à 70 % suivant que l'essai débute à la saison des pluies ou est mis en place en période sèche. Les feuilles vertes d'*A. auriculiformis* semblent se comporter de la même manière que celles d'*A. mangium*, alors que les feuilles jaunes sont plus facilement biodégradables chez *A. auriculiformis* et que les branches le sont moins. Si on considère la perte de poids, le temps de résidence des différents organes pourrait varier entre un an et plusieurs années. Encore est-il nécessaire de savoir, dans le cadre de notre étude, quelle dynamique de restitution au sol suit les éléments limitant la production des cocotiers, à savoir l'azote, le potassium et le magnésium.

Restitution d'azote, de potassium et de magnésium des différents organes d'acacias au cours de leur dégradation

La perte de chaque élément est suivie en dosant cet élément dans la biomasse restante et en ramenant la quantité trouvée au poids de l'échantillon sec initial de l'organe considéré. La dynamique de restitution dépend essentiellement de l'élément considéré, mais, comme pour la perte globale de poids, elle peut dépendre aussi de l'espèce végétale, de l'organe et de la période du début de l'expérimentation (figures 2 et 3).

Tableau 4. Evolution des teneurs en éléments minéraux des feuilles de cocotiers entre 1989 et 1992. / *Changes in the mineral nutrient contents of coconut leaves between 1989 and 1992.*

		Témoin N0 NO control	Témoin N1 N1 control	Filao + cocotier Filao + coconut	A. mangium + cocotier A. mangium + coconut	A. auriculiformis + cocotier A. auriculiformis + coconut	Probabilité de F F probability
N	01/89 09 ⁽¹⁾	1,96	2,01	1,98	1,98	2,03	0,846
N	12/89 14	1,85	1,98	1,92	1,96	1,92	0,226
N	02/91 14	1,79 c	2,09 b	2,11 b	2,17 a	2,24 a	0,000
N	03/92 14	1,62 c	1,92 b	2,00 b	2,21 a	2,24 a	0,000
P	01/89 09	0,146	0,147	0,146	0,140	0,148	0,403
P	12/89 14	0,140	0,142	0,138	0,135	0,139	0,565
P	02/91 14	0,124 c	0,135 b	0,141 ab	0,136 b	0,148 a	0,003
P	03/92 14	0,112 c	0,123 b	0,126 b	0,130 b	0,140 a	0,000
K	01/89 09	0,926	0,967	1,002	0,945	0,986	0,829
K	12/89 14	0,696	0,715 c	0,887 b	0,787 a	0,781 ab	0,020
K	02/91 14	0,816	0,796	0,801	0,714	0,711	0,238
K	03/92 14	0,815	0,656	0,739	0,608	0,595	0,082
Ca	01/89 09	0,205	0,212	0,201	0,217	0,225	0,643
Ca	12/89 14	0,267	0,273	0,229	0,258	0,249 a	0,175
Ca	02/91 14	0,212 b	0,206 b	0,216 b	0,221 b	0,260 a	0,033
Ca	03/92 14	0,232	0,227	0,200	0,211	0,224	0,439
Mg	01/89 09	0,496	0,497	0,496	0,496	0,480	0,787
Mg	12/89 14	0,598	0,559	0,532	0,542	0,540	0,061
Mg	02/91 14	0,560	0,539	0,559	0,574	0,576	0,357
Mg	03/92 14	0,590	0,590	0,562	0,581	0,580	0,587

Témoin N0 : sans azote / NO control: without nitrogen.

Témoin N1 : avec azote minéral / N1 control: with inorganic nitrogen.

a,b,c, les mêmes lettres correspondent à un même groupe statistique. / a,b,c, the same letters correspond to the same statistical group.

Les comparaisons des moyennes ont été faites entre les différents objets pour la même campagne. / The comparisons of the means were made between the different treatments for the same season.

(1) Rang de la feuille prélevée. / Rank of sampled leaf.

Tableau 5. Evolution du taux de matière sèche des organes d'acacias au cours de leur dégradation. / *Changes in the amount of dry matter in acacia organs during decomposition.*

Durée / Duration	A. mangium			A. auriculiformis		
	Feuilles vertes Green leaves	Feuilles jaunes Yellow leaves	Branches Branches	Feuilles vertes Green leaves	Feuilles jaunes Yellow leaves	Branches Branches
0 mois / 0 months	100	100	100	100	100	100
6 mois / 6 months	85,3 (5,1)	90,5 (5,4)	86,2 (9,1)	67,0 (22,8)	49,9 (19,3)	93,7 (6,9)
12 mois / 12 months	57,3 (6,5)	64,4 (8,6)	46,7 (0,7)	56,7 (25)	34,6 (8,9)	66,8 (3,8)

4 répétitions / 4 replicates

() écart type / () standard deviation

Tableau 6. Restitution réelle d'azote, de potassium et de magnésium par biodégradation des organes d'acacias laissés au sol pendant un an après le recépage. / *Actual restoration of nitrogen, potassium and magnesium by biodegradation of acacia organs left on the soil for a year after cutting back.*

Matériel végétal / Planting material	Organe / Organ	N (kg/ha)	K (kg/ha)	Mg (kg/ha)
A. mangium	fruits/ fruits	4,5	9	0,2
	petites branches / small branches	10	10	5
	feuilles vertes / green leaves	51	18	6
	litière / litter	18	18	9
A. auriculiformis	petites branches / small branches	53	6	11
	feuilles vertes / green leaves	34	26	4
	litière / litter	38	15	0

4 répétitions / 4 replicates

() écart type / () standard deviation

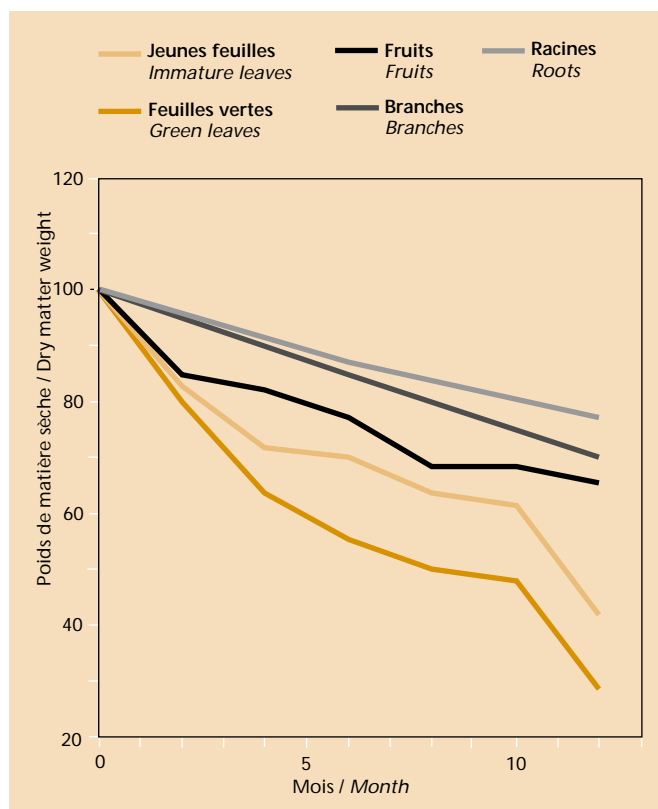
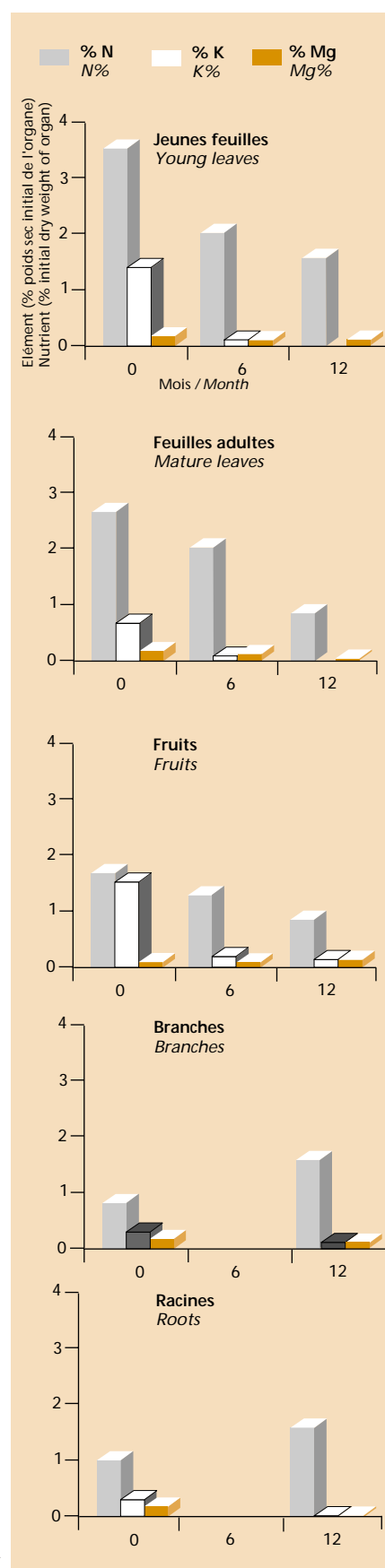


Figure 1. Evolution de la dégradation au sol de 100 g de matière sèche d'organes d'*A. mangium* (feuilles vertes, feuilles immatures, fruits, branches et racines) pendant un an, à partir de la saison sèche (expérience A). / Decomposition in the soil of 100 g of dry matter from *A. mangium* organs (green leaves, immature leaves, fruits, branches and roots) over a period of one year, starting in the dry season (trial A).



composition. Seuls les fruits conservent encore une certaine quantité de potassium (0,15 % au lieu de 1,5 % au début) au bout d'une année.

• Le magnésium, dont la teneur est la plus faible des trois éléments considérés, s'avère le plus difficilement libérable : les fruits gardent une valeur stable (0,1 %), la teneur en magnésium des feuilles des deux espèces d'acacias baisse très faiblement (de 0,26 à 0,20) ; seules les petites branches perdent largement leur magnésium (0,28 à 0,07 %).

Ainsi, suivant l'élément considéré, la restitution au sol est plus ou moins rapide. De nombreux auteurs ont déjà montré que le potassium était l'élément le plus labile alors que l'azote suit l'évolution de la matière organique (Swift *et al.*, 1981). Cette étude confirme cette évolution de l'azote seulement lorsque l'essai débute en saison sèche, l'azote restant bloqué dans le cas où l'essai débute à la saison des pluies.

En se rapportant à l'estimation des biomasses totales obtenues après recépage (tableau 2) et en utilisant les teneurs des

• L'azote : lorsque l'essai débute en saison sèche, la libération de l'azote par *A. mangium* se fait progressivement, les feuilles adultes perdent les deux tiers de leur azote en un an et les jeunes feuilles la moitié, suivant ainsi la même évolution que la biomasse totale (figure 2). Les branches et les racines perdent leur azote plus facilement que le laissait supposer la perte de poids total, les fruits conservent leur azote plus longtemps. Lorsque l'essai débute à la saison des pluies (figure 3), l'azote reste bloqué les six premiers mois chez *A. mangium*. L'eau, contrairement à ce que l'on attendait, ne précipite pas le départ de cet élément mais pourrait favoriser des réactions de polymérisation de l'azote. En effet, d'après Palm et Sanchez (1991), la présence de produits polyphénoliques contenus dans les tanins peut ralentir la minéralisation de l'azote. Il serait intéressant de savoir si *A. mangium* a une concentration plus importante en tanin qu'*A. auriculiformis*, dont les pertes en azote suivent une évolution continue. Bien que leur poids diminue de 40 à 70 % en un an, les feuilles jaunes libèrent peu l'azote.

• Le potassium est l'élément le plus labile. Aussi bien chez *A. mangium* que chez *A. auriculiformis*, et quelle que soit la période de mise en place de l'essai, l'essentiel du potassium de tous les organes disparaît dans les six premiers mois de mise en dé-

Figure 2. Evolution des quantités d'azote, de potassium et de magnésium dans 100 g d'organes d'*A. mangium* pendant un an, à partir de la saison sèche (expérience A). / Changes in the quantities of nitrogen, potassium and magnesium in 100 g of *A. mangium* organs over a period of one year, starting in the dry season (trial A).

Tableau 7. Production en noix/arbre de 1989-1990 à 1993-1994. / Nut yields/palm from 1989-1990 to 1993-1994.

Objet / Treatment	Cocotiers sans engrais azoté Coconuts without nitrogen fertilizer TNO	Cocotiers avec engrais azoté Coconuts with nitrogen fertilizer TN1	Casuarina + cocotiers + coconuts	A. mangium + cocotiers + coconuts	A. auriculiformis + cocotiers + coconuts
Campagne / Season					
1989-1990 *	4,7 ab	5,8 b	2,1 ab	3,4 ab	1,1 a
1990-1991	38,5 c	43,4 c	21,4 ab	23,6 b	13,1 a
1991-1992	54,5 a	91,5 b	63,0 b	67,3 b	70,3 b
1992-1993	16,7 a	53,8 b	48,9 b	52,4 b	49,7 b
1993-1994	21,9 a	52,3 b	56,6 b	71,3 c	76,8 c
Noix/ha / Nuts/ha	3 504	8 368	6 113	7 700	8 294

* Le dernier épandage d'engrais azoté sur TNO et les cocotiers en association a été fait en juillet 1980. Les comparaisons des moyennes ont été faites entre les différents objets pour la même campagne. / The last nitrogen fertilizer application on TNO and the intercropped coconut palms was in July 1980. The comparisons of the means were made between the different treatments for the same season.

éléments, estimées à partir de l'expérience en conditions contrôlées, il est possible d'évaluer, un an après le recépage, les quantités des trois éléments réellement restituées au sol (tableau 6). En comparant lorsque cela est possible, suivant l'espèce ou suivant l'organe, ces valeurs avec celles des tableaux 2 et 3, on peut estimer que *A. mangium* restitue au bout de un an, 80 % du potassium, 25 % du magnésium et 20 % de l'azote qu'il avait immobilisés et que *A. auriculiformis* restitue 95 % de potassium, 60 % de magnésium et 35 % d'azote. Aussi, si *A. mangium* produit plus de biomasse, *A. auriculiformis* apparaît plus facilement dégradable car il restitue plus rapidement l'azote, le potassium et le magnésium.

Effet des légumineuses arborescentes sur la production des cocotiers

Rappelons que la productivité de la vieille cocoteraie traditionnelle du littoral ivoirien est très faible, au plus 1 250 noix/ha/an soit 8 noix/arbre/an. Le remplacement des cocotiers GOA par les hybrides PB 121 a relevé de 8 à 22 noix la production moyenne annuelle par arbre dès la 5^e année de production (tableau 7). Dans ce cas, la conduite de la cocoteraie se fait sans apport d'engrais minéral azoté. La production s'améliore nettement avec un apport d'urée en passant à 52 noix/arbre/an. Avec la technique d'association, elle atteint 71 noix (*A. mangium* + cocotiers) et 77 noix (*A. auriculiformis* + cocotiers) par arbre à la 5^e année de production, soit une moyenne de 74 noix pour les deux variétés de légumineuses arborescentes.

Acacia mangium ou *A. auriculiformis* a ainsi induit une amélioration de la productivité de la cocoteraie en la multipliant environ par :

- 6 par rapport au GOA traditionnel ;

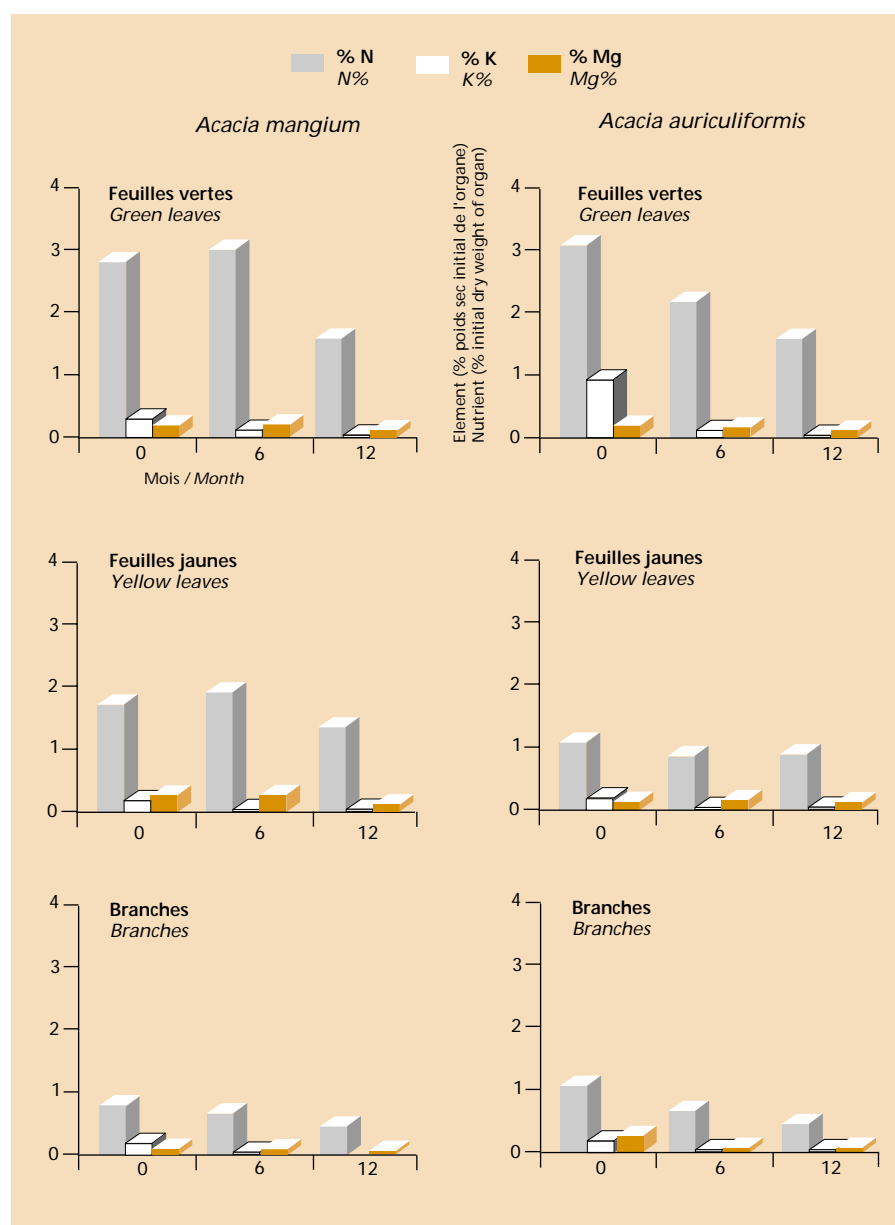


Figure 3. Evolution des quantités d'azote, de potassium et de magnésium dans 100 g d'organes d'acacias durant un an, à partir de la saison des pluies (expérience B). / Changes in the quantities of nitrogen, potassium and magnesium in 100 g of acacia organs over a period of one year, starting in the rainy season (trial B).

- 3 par rapport au PB 121 conduit sans fumure minérale azotée.

Les légumineuses arborescentes ont permis d'obtenir, dès la 5^e année de production, 8 000 noix par ha au lieu de 3 500 pour les hybrides sans fumure azotée.

Le nombre de cocotiers par hectare est de 160 en culture pure et 108 en association avec les légumineuses arborescentes. La production de noix sur un hectare de cocotiers pur avec la fumure azotée a été légèrement plus élevée que celle enregistrée sur un hectare en association (8 300 noix/ha contre 8 000 noix, soit 4 % de plus). Mais ceci n'est vrai que pour la 5^e année de production. En effet, sur l'objet avec fumure azotée, les teneurs foliaires en azote des cocotiers (1,92 % de la matière sèche) sont désormais tombées en dessous du seuil critique qui est de 2 % de la matière sèche (tableau 4). Cette baisse de la nutrition a laissé apparaître des symptômes visibles de la carence azotée qui se manifestent par un jaune généralisé du feuillage mais surtout par une réduction de la charge des couronnes en noix. Une baisse de production des cocotiers est donc ici annoncée pour les campagnes futures. A l'opposé, la charge en noix des couronnes des cocotiers en association avec les légumineuses arborescentes connaît une nette amélioration et permet de prévoir de meilleures récoltes pour les campagnes à venir.

Sans apport complémentaire de fumure minérale azotée, les légumineuses arborescentes améliorent la productivité de la cocoteraie de façon permanente et continue.

Conclusion

Les deux espèces d'acacias associées aux cocotiers permettent un apport important de matière organique au sol ; mais le devenir de cette matière organique varie suivant l'espèce et la période de recépage. *A. mangium* fournit plus de biomasse mais la dégradation et la libération des éléments minéraux, en particulier de l'azote, sont plus lentes et plus dépendantes de la période de recépage que celle d'*A. auriculiformis*. Malgré cette légère différence, il est possible de conclure que les deux espèces ont

un effet bénéfique sur la culture du cocotier lorsqu'elles lui sont associées.

La pratique de la culture associée acacias/cocotiers présente alors plusieurs avantages :

- elle restaure le niveau azoté du sol et maintient un bon niveau de production (pour des arbres âgés de 7 ans, 50 noix/arbre contre 17 noix/arbre pour les cocotiers témoins sans acacia associé et sans apport d'azote) ;
- la litière et les produits de recépage des acacias fournissent au sol, tous les quatre ans, 25 à 30 t/ha de matière organique jouant le rôle d'engrais à effet retard sur plusieurs années. Cet apport ne doit pas être sans incidence sur la structure et la texture du sol ainsi que sur le niveau d'évaporation. La quantité apportée est d'ailleurs sous-estimée puisque l'étude n'a pas pris en compte la biomasse des racines ;
- la coupe des acacias fournit également une quantité importante de bois à usage domestique (22 à 50 m³/ha) ;
- pour les paysans, cette production de bois peut compenser l'utilisation traditionnelle des bourres et des coques de noix très riches en potassium et, ainsi, réduire de moitié l'exportation de potassium, même en prenant en compte celle résultant de l'exploitation du bois.

Pourtant, cette étude montre que le niveau de fertilité potassique reste le facteur limitant du système, et l'exportation de cet élément à partir du bois peut entraîner à plus ou moins courte échéance une baisse de la production. Aussi, pour maintenir la viabilité et la stabilité du système, est-il nécessaire de compenser les pertes en potassium et de maintenir un équilibre avec le magnésium, le coût de ces intrants pouvant être couvert par les économies réalisées sur le bois.

La maîtrise et la diffusion d'une telle technique culturale sur l'ensemble du littoral ivoirien, voire de l'Afrique de l'Ouest (Liberia, Ghana, Togo, Bénin, Nigeria...) permettraient de régénérer à faible frais toute la vieille cocoteraie qui, maintenant, est devenue peu productive. ■

Bibliographie / References

- BREMNER J.M., MULVANEY C.S., 1982. Nitrogen total. *In*: Methods of soil analysis, part 2: chemical and microbiological properties (C.A. Black, D.D. Evans, J.L. White, L.E. Ensminger and F.E. Clark éd., Madison, Etats-Unis, American Society of Agronomy, p. 595-624.
- De TAFFIN G., ZAKRA N., POMIER M., BRACONNIER S., Weaver R.W., 1991. Recherche d'un système cultural stabilisé associant le cocotier à des arbres fixateurs d'azote. *Oléagineux* 46 (12) : 489-500.
- OCHS R., OLIVIN J., DANIEL C., POMIER M., OUVRIER M., BONNEAU X., ZAKRA N., 1993. Coconut nutrition: IRHO experience in different countries. *In*: Advances in coconut research and development, M.K. Nair, H.H. Khan, P. Gopalasundaram et E.V.V. Bhaskara Rao éd., New Delhi, Inde, Oxford and IBH Publishing, p. 313-327.
- OUVRIER M., 1987. Exportation par la récolte du cocotier PB 111 en fonction de la fumure potassique et magnésienne. *Oléagineux* 42 (7) : 271-280.
- PALM C.A., SANCHEZ P.A., 1991. Nitrogen release from the leaves of some tropical legumes as affected by their lignin and polyphenolic contents. *Soil Biol. Biochem.* 23 (1) : 83-88.
- POMIER M., de TAFFIN G., 1982. Etude de la fertilisation et de la régénération des sols dans le cas d'une replantation de cocotiers. *Oléagineux* 37 (10) : 455-461.
- POMIER M., BELIGNE V., BONNEAU X., de TAFFIN G., 1986. Restauration de la fertilité des sols lors de la replantation d'une cocoteraie. *Oléagineux* 41 (5) : 223-230.
- SWIFT M.J., RUSSEL-SMITH A., PERFECT T.J., 1981. Decomposition and mineral nutrient dynamics of plant litter in a regenerating bush-fallow in sub-humid tropical Nigeria. *J. Ecol.* 69 : 981-995.

Nos remerciements à l'Agence internationale de l'énergie atomique, Vienne, Autriche, qui soutient depuis 1987 le programme IVC-5-018 dont cette étude fait partie intégrante et au Service central d'analyses du CNRS⁽¹⁾, Vernaison, France, qui a réalisé les analyses.

(1) Centre national de la recherche scientifique (France)

Positive results of coconut/acacia intercropping for nitrogen, potassium and magnesium restoration

Zakra N.¹, Domenach A.M.², Sangaré A.¹

¹ IDEFOR-DPO, station Marc Delorme, 07 BP 13 Abidjan 07, Côte d'Ivoire

² Laboratoire de microbiologie des sols, université Lyon I, 43 bd du 11 Novembre 1918, 69622 Villeurbanne Cedex, France

The very low fertility of the coastal quaternary sands, on which 80% of the Ivorian coconut plantations are located, has been exacerbated by a very long period of coconut monoculture, with no fertilizer applications or restoration of organic matter (Pomier and de Taffin, 1982 ; Ouvrier, 1987). The coconut husks, fronds and other plant matter are systematically used by the locals as fuel and building materials. Growers cannot afford the costly amendments now needed to renew the excessively old and very low-yielding coconut plantations. A legume/coconut intercropping trial (de Taffin *et al.*, 1991; Pomier *et al.*, 1986) intended to restore a satisfactory level of nitrogen (N) fertilization was set up in 1986.

Material and methods

An intercropping trial with coconut/nitrogen fixing trees was set up in situ and the decomposition of different organs returned to the soil was simulated under controlled conditions.

Coconut/acacia intercropping

Trial plots containing PB 121 hybrid coconut palms and atmospheric nitrogen fixing trees including *Acacia mangium* and *A. auriculiformis* were set up in 1986 (de Taffin *et al.*, 1991) on the coastal sands of southeast Côte d'Ivoire after felling of the former West African Tall (WAT) plantation. One in three coconut rows was replaced by a double row (2 x 3 m) of acacias. The acacias were cut back to 1.5 m in height every four years. The trunks were removed from the site and the leaves and small branches spread on the ground throughout the plot after evaluating the biomass of each component. When the trees were cut back, biomass measurements were taken on six individual trees of each of the nitrogen fixing species chosen from three blocks. The biomass of the leaves, fruits, branches and trunks, along with that of the litter lying under the trees at the time, was determined.

Dynamics of nutrient restoration

Two successive trials (A and B) lasting 12 months each were set up in the same design of 4 Fisher blocks. Each block comprised 2 rows of fourteen 20 cm deep 40 cm square boxes. The boxes contained a 17 cm deep layer of sand, identical to that found at the experimental station, from which any plant debris had previously been removed. Plant material was placed di-

rectly on the sand to cover the total area of the square. Netting with a 1 cm mesh was placed over the boxes, allowing the microfauna to pass whilst preventing any loss from or addition to the system.

In trial A, decomposition of all the *A. mangium* organs was monitored from the start of the dry season. The organs involved were developing leaves, mature leaves, fruits, the trunk and large branches and the roots. In trial B, set up at the start of the rainy season, a comparison was made between the decomposition dynamics for the same organs of both species, *A. mangium* and *A. auriculiformis*. The comparison covered all the plant organs returning to the soil, either naturally or after cutting back, namely green leaves, senescent yellow leaves, along with small branches not suitable for fuel.

Samples of each organ were taken every two months in trial A and every three months in trial B from the boxes set up for the purpose in each block. On each sampling, the plant material remaining identifiable to the naked eye was recovered and cleaned of any sand sticking to it, then its total nitrogen (Bremner and Mulvaney, 1982), potassium (K) and magnesium (Mg) contents were titrated.

Results and discussion

Amounts of nitrogen, potassium and magnesium immobilized, exported or restored by the acacias

Exports

Exports of these nutrients when the wood is removed after cutting back were estimated by assessing trunk and large branch biomass and measuring their nitrogen, potassium and magnesium concentrations (table 1). With the amount of wood produced (56 kg/tree) and high nutrient contents, *A. mangium* exported twice as much potassium and magnesium but only 60% more nitrogen than *A. auriculiformis*. Exported nitrogen (153 kg/ha for *A. mangium* and 90 kg/ha for *A. auriculiformis*) accounted for 20% of the nitrogen contained in each of the species and it can be assumed that fixation easily compensated for such exports (tables 1 and 2). However, potassium and magnesium exports were a loss for the soil and for the coconut palms (tables 1 and 3). Taking 450 fixing trees per hectare, the losses (table 1) amounted to 58 and 25 kg/ha of

potassium and 28 and 12 kg/ha of magnesium for *A. mangium* and *A. auriculiformis* respectively. According to Ochs *et al.* (1993), harvesting coconuts from the same genotype at 12 years corresponds to exports of 100 kg of nitrogen, 200 kg of potassium and 20 kg of magnesium per hectare per year. Wood production means that the nut husks normally used for fuel can be left in the field, thereby limiting losses since they alone contain 70% of the potassium and 60% of the magnesium. In the trial, combined acacia wood and coconut harvesting represented a substantial loss of nutrients from the farming system, likely to cause an imbalance, which in fact started to appear: the coconut leaf contents, used as an indicator of soil fertility and of yield-limiting factors, altered over time (table 4). In four years, the leaf potassium contents dropped from 1 to 0.6% in all the intercropped coconut palms, whereas for magnesium, a cation antagonistic towards potassium, the contents held up at 0.5-0.6%. It is known that yields start to decrease when the potassium concentration falls below 1% and the potassium/magnesium balance becomes precarious (Ochs *et al.*, 1993). For nitrogen, symbiotic fixation seemed to largely make up for exports, since the coconut leaf nitrogen contents exceeded optimum values (with 2.1 and 2.2 for coconut palms intercropped with *A. mangium* and *A. auriculiformis* respectively), though the soil is very poor in nitrogen.

The acacia/coconut intercropping system therefore catered for coconut nitrogen requirements and removed the need to apply inorganic nitrogen. It reduced potassium losses since husks were returned to the soil and compensated for the wood removed. However, although the loss resulting from wood exploitation was halved, there was nonetheless a loss from the system, especially of potassium, a limiting nutrient, which had to be compensated for by fertilizer applications.

Potential restoration

Introducing acacias into the coconut cultivation system resulted in exploitation of nutrients by the acacias, part of which was exported and part returned to the soil by organs left on the ground when the trees were cut back. Measurements taken on the major categories of organs - leaves, fruits and small branches, along with existing litter - provided an indication of the quantities of nutrients immobilized by the acacias. These nutrients, taken from the soil alone - potassium and

magnesium - or from the soil and the air - nitrogen - (tables 2 and 3) were only available to the coconut palms as the different acacia organs decomposed. Given that all the trees were cut back once every four years, the quantities of nutrients returned to the soil after cutting back represented 420 and 348 kg/ha of nitrogen, 46 and 38 kg/ha of potassium, and 32 and 25 kg/ha of magnesium for *A. mangium* and *A. auriculiformis* respectively. A comparison of the quantities of nutrients immobilized by the two acacia species shows that the generally higher concentrations for *A. auriculiformis* did not entirely compensate for the higher biomass production of *A. mangium*. The litter was also seen to be poorer in nutrients than green leaves. The results obtained with senescent leaves still attached to the tree revealed that there was strong mobilization of mineral nutrients during senescence.

Whilst the nutrients contained in the acacia organs left on the soil after cutting back can potentially be returned to the soil, it remains to be seen how long it takes for restoration to actually take place and whether or not this temporary immobilization causes greater environmental imbalance.

Dynamics of acacia organ breakdown and release of immobilized nutrients

Loss of dry matter weight from acacia organs left on the ground after cutting back

On the whole, the results showed that the decomposition rate depends on the organ considered, the plant species and the time the experiment was set up (figure 1 for trial A and table 5 for trial B). Although recovery of the plant material became more delicate the more the organs decomposed, alteration seemed to largely depend on the rainfall pattern at the start of the experiment, which determined the time spent by the plant material on the ground. After 12 months, green leaves of *A. mangium* were 40 to 70% decomposed depending on whether the trial began during the rainy season or the dry season. Green leaves of *A. auriculiformis* seemed to decompose in the same way as those of *A. mangium*, whereas *A. auriculiformis* yellow leaves were more readily biodegradable and its branches less biodegradable. In terms of weight loss, the time spent by the different organs on the ground could vary from one to several years. In our study, it remained to be seen what the dynamics of restoration were for coconut yield limiting nutrients, namely nitrogen, potassium and magnesium.

Nitrogen, potassium and magnesium restoration from different acacia organs during decomposition

The loss of each nutrient was monitored by titrating its content in the remaining biomass and comparing this amount to the weight of the ini-

tial dry sample of the organ in question. The restoration dynamics mainly depended on the nutrient considered, but as for overall weight loss, they could also depend on the plant species, the organ and the time of year the trial began (figures 2 and 3).

- Nitrogen: in the trial launched during the dry season, *A. mangium* released nitrogen gradually; the mature leaves lost two thirds of their nitrogen within a year and young leaves half, thereby following the same trends as total biomass (figure 2). The branches and roots released their nitrogen more readily than suggested by total weight loss; the fruits retain their nitrogen the longest. In the trial launched in the rainy season (figure 3), nitrogen remained blocked for the first 6 months in *A. mangium*. Contrary to expectations, water did not accelerate nitrogen release, but may have promoted nitrogen polymerization reactions. In fact, according to Palm and Sanchez (1991), the existence of polyphenolic products in tannins can slow down nitrogen mineralization. It would be interesting to find out whether *A. mangium* has a higher tannin concentration than *A. auriculiformis*, from which nitrogen release follows a continuous trend. Yellow leaves released little nitrogen despite the fact that their weight dropped by 40 to 70% within a year.

- Potassium was the most labile nutrient. Irrespective of when the trial was launched, most of the potassium disappeared from all the organs of both *A. mangium* and *A. auriculiformis* within the first 6 months of decomposition. Only the fruits still retained a certain quantity of potassium (0.15% as opposed to 1.5% at the outset) by the end of a year.

- Magnesium, whose content was the lowest of the three nutrients considered, proved to be less readily released: fruits retained a stable value (0.1%), leaf magnesium contents for both acacia species fell only very slightly (from 0.26 to 0.20); only small branches readily released their magnesium (0.28 to 0.07%).

Thus, the time taken for restoration to the soil varied depending on the nutrient in question. Many authors have already shown that potassium is the most labile nutrient, whilst nitrogen follows the same trend as organic matter (Swift *et al.*, 1981). This study only confirmed the trend for nitrogen in the trial launched in the dry season, since nitrogen remained blocked in the trial launched in the rainy season.

It was possible to assess the quantities of the three nutrients actually restored to the soil after a year (table 6) by referring to the estimate of total biomasses obtained after cutting back (table 2) and using the nutrient contents estimated from the experiment under controlled conditions. By comparing these values, wherever

possible and depending on the species or organ, with those in tables 2 and 3, it could be estimated that after a year *A. mangium* had restored 80% of the potassium, 25% of the magnesium and 20% of the nitrogen originally immobilized, and that *A. auriculiformis* restored 95% of the potassium, 60% of the magnesium and 35 % of the nitrogen. Hence, although *A. mangium* produced more biomass, *A. auriculiformis* seemed to decompose more readily and restored nitrogen, potassium and magnesium more rapidly to the soil.

Effect of woody legumes on coconut yields

It should be remembered that yields from the ageing traditional coconut groves along the Ivorian coast are very low, 1,250 nuts/ha/year at the most, i.e. 8 nuts/palm/year. Replacing WAT palms with PB 121 hybrids increased average annual yields from 8 to 22 nuts per palm by the fifth year of production (table 7). In this particular case, the coconut plantings received no inorganic nitrogen applications. When urea was applied, yields increased markedly to 52 nuts/palm/year. With intercropping, yields reached 71 nuts (*A. mangium* + coconut palms) and 77 nuts (*A. auriculiformis* + coconut palms) per palm by the 5th year of production, i.e. an average of 74 nuts for the two woody legume varieties.

Acacia mangium or *A. auriculiformis* therefore induced higher productivity in coconut plantations, multiplying it by approximately:

- 6 compared to the traditional WAT,
- 3 compared to the PB 121 without inorganic nitrogen fertilizer.

The woody legumes resulted in yields of 8,000 nuts per ha by the fifth year of production, as opposed to 3,500 for the hybrids without nitrogen fertilization.

The planting density was 160 palms/ha in a coconut monoculture and 108 coconut palms per hectare when intercropped with acacia. Nut yields from a hectare of coconut palms grown alone with nitrogen fertilizer were slightly higher than those recorded for a hectare of intercropped palms (8,300 nuts/ha as opposed to 8,000 nuts, i.e. 4% more). However, this was only true for the fifth year of production. In fact, in the treatment with nitrogen fertilization, coconut leaf nitrogen contents (1.92% of dry matter) fell thereafter to below the critical level of 2% dry matter (table 4). This decline in nutrition resulted in visible symptoms of nitrogen deficiency, reflected in generalized yellowing of the foliage, but particularly in a reduction in nut loads per crown. A drop in nut yields can therefore be expected in the coming seasons. On the other hand, the number of nuts in the crowns of intercropped palms increased

substantially, suggesting better harvests in the coming seasons. In the absence of additional inorganic nitrogen applications, the woody legumes resulted in a continuous and sustainable increase in coconut productivity.

Conclusion

Both of the acacia species intercropped with coconut returned substantial amounts of organic matter to the soil; but what happened to the organic matter varied depending on the species and the cutting back period. *A. mangium* provided more biomass, but decomposition and mineral nutrient release, especially of nitrogen, were slower and more dependent on the cutting back period than in the case of *A. auriculiformis*. Despite this slight difference, it can be concluded that both species have a positive effect on coconut production in an intercropping system.

Acacia/coconut intercropping offers several advantages:

- it restores the nitrogen level in the soil and upholds good yields (50 nuts per palm on 7-year-old palms as opposed to 17 nuts/palm on

control coconut palms with neither intercropped acacia nor nitrogen applications);

- litter and debris from the cutting back of acacias supply the soil with 25 to 30 t/ha of organic matter every four years, acting as fertilizer with a delayed reaction over several years. This application is bound to have an effect on soil structure and texture, and on the amount of evaporation. Moreover, the quantity provided is underestimated since the study did not take root biomass into consideration;
- cutting back the acacias also provides a substantial amount of wood for domestic use (22 to 50 m³/ha);
- for smallholders, this wood production can replace the traditional use of coconut husks and shells, which are very rich in potassium, thereby halving potassium exports even if exports resulting from wood use are taken into account.

Even so, this study shows that the level of potassium fertility remains a limiting factor in

We should like to thank the International Atomic Energy Agency in Vienna, Austria, which has been supporting the IVC-5-018 programme, of which this study is an integral part, since 1987; our thanks also go to the CNRS (Centre national de la recherche scientifique – France) central analyses service, Vernaison, for carrying out the analyses.

the system and exports of this nutrient through wood use can eventually lead to a drop in yields.

System viability and stability can therefore only be ensured if potassium losses are compensated for and a balance with magnesium maintained; the cost of the necessary inputs can be covered by the savings made from wood use.

If such a cultural technique were to be mastered and extended to the entire Ivorian coast, or even the whole of West Africa (Liberia, Ghana, Togo, Benin, Nigeria, etc.), all the ageing coconut plantings with declining yields could be regenerated at little cost. ■